



変調波外力注入同期発振器の特性とその応用に関する研究

著者	新沼 厚生
号	329
発行年	1971
URL	http://hdl.handle.net/10097/9065

氏 名 (本籍)	新 沼 厚 生 (宮城県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 3 2 9 号
学位授与年月日	昭和 4 7 年 3 月 2 4 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻
学位論文題目	変調波外力注入同期発振器の特性とその応用に 関する研究
	(主査)
論文審査委員	教授 真野 国夫 教 授 穴山 武 教授 斎藤 伸自 助教授 高木 相

論 文 内 容 要 旨

第 1 章

一般に変調波外力が作用した発振器の回路方程式は 2 階の非線形微分方程式に記述できる。外力が単一周波の場合には Van der Pol によって近似解が得られているが、変調波外力の場合には解析の困難さからほとんど明らかにされていない。

本論文では非線形振動論の立場から変調波外力が発振器に作用した場合の発振器の出力位相について極めて基本的な考察を行ない同期範囲および出力位相を記述する基本式を求め、これから 2 周波外力及び振幅変調波外力の場合について計算と実験を行ない、これらの諸特性を明らかにするとともに変調波外力注入同期発振器の新しい応用について考察したものである。

第2章 発振器の同期に関する従来の研究

本研究に関する各種同期発振器について、従来の解析法を総括し、比較検討した。すなわち、変調波外力が作用した発振器の場合、これを記述するVan der Pol の方程式を直接検討する手法より、位相に関するAdler の式を検討することが有用であることを述べ問題点を指摘し、本研究の立脚点を明確にした。

第3章 変調波外力注入同期発振器の基本式

単一周波外力が作用した発振器の出力位相を記述するAdler の式は、計算の結果式(1)のように外力が振幅変調され、同時に角度変調されているような一般的な変調波外力の場合に拡張することができる。

$$\dot{\phi} = \triangle - \frac{E(t)\omega}{2A} \sin \{ \phi + \theta(t) \} \quad (1)$$

ただし、 $\triangle = P - \omega$ であり、ここで、 ω 、 P は自励発振角周波数と外部信号角周波数であり、 A 、 ϕ は発振器の出力振幅と出力位相である。また、 $E(t)$ 、 $\theta(t)$ は変調されている振幅と位相である。

式(1)に対してKhokhlov の手法を用いて若干の変数変換を行なうことにより、媒介変数(Z)を用いて、次式のような2階の時変数微分方程式が得られる。

$$\begin{aligned} \ddot{Z} + \left[\frac{1}{4} \left(\triangle - \frac{d\theta(t)}{dt} \right)^2 \right. \\ \left. - \left\{ \frac{\omega}{4A} \frac{dE(t)}{dt} - \frac{1}{2} \frac{d}{dt} \textcircled{H} \right\} \right. \\ \left. - \left\{ \frac{E(t)\omega}{4A} - \frac{1}{2} \textcircled{H} \right\}^2 \right] Z = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、

$$\textcircled{H} = \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} \bigg/ \left(\triangle + \frac{d\theta(t)}{dt} \right) \quad (3)$$

式(2)の解の安定性より同期範囲が求められ、さらに発振器の出力位相は、

$$\begin{aligned} \phi = 2 \arctan \frac{2}{\triangle + \frac{d\theta(t)}{dt}} \\ \times \left[\frac{E(t)\omega}{4A} - \frac{1}{2} \textcircled{H} - \frac{\dot{Z}}{Z} \right] - \theta(t) \end{aligned} \quad (4)$$

のごとく求めることができる。式(3)、式(4)の一般的な解法は知られていないが、とくに式(3)が Hill の方程式に近似できるときには、さらに解析的な検討が可能である。

第4章 2周波外力の場合における発振器の同期範囲

多周波外力のうちでもっとも簡単な2周波外力の場合の同期範囲について、式(3)を Mathieu の方程式に近似することによって計算し、実験を行なった。

この結果、任意の振幅比を持つ2周波外力の作用する発振器の同期範囲が回路パラメータ、外力の条件との関連で明らかとなり、また混変調による同期も存在することが明らかとなった。

第5章 2周波外力の場合における発振器の位相特性

第4章にひきつゞき、2周波外力が作用する発振器の出力位相特性について実験的に検討した。この実験結果から、発振器の出力位相変動量は、

$$\phi_v = \frac{r}{4} \frac{e\omega}{\Delta\Omega} \left\{ 1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta}{\Omega} \right\} \cos 2\Omega t \quad (5)$$

と表わせる関係にあることを導びいた。ただし、ここで、 e は同期信号振幅であり、 r は2周波外力の振幅比である。

式(5)からもわかるように単一周波外力に同期している発振器の出力は、同期範囲外にある周波数成分の影響により周波数変調波となることが明らかとなり、発振器が AM-FM 変換器としての性質を有することが明らかとなった。

第6章 振幅変調波外力の場合における発振器の同期範囲

第3章で求めた基本式を Hill の方程式に近似することによって任意の変調度を有する振幅変調波外力が作用している発振器の同期範囲を計算し、さらに混変調による同期についても論じ、これらについての実験を行ない理論計算がよく実験と一致することを確認、外力条件と回路パラメータの関係で同期範囲の基本特性を明らかにした。

以上の結果は、任意の変調度を有する場合に適用され、変調度が1より十分小さい場合を取り扱った Khokhlov の場合を包含するものである。

第7章 振幅変調波外力の場合における発振器の位相特性

第6章での考察を基礎として、振幅変調波外力の搬送波で同期している発振器の出力位相に対する側波帯の影響を第3章で求めた式(4)を用いて解析し、次式のような結果を得、これらについての実験を行なった。

$$\phi_v = \frac{1}{2} m \left(\frac{\triangle}{\Omega} \right) \sin 2\Omega t \quad (6)$$

ここで， m は振幅変調度であり， 2Ω は変調角周波数である。

この結果，振幅変調波外力が作用した発振器の出力位相は，変調度に比例し，変調周波数に反比例していることが明らかとなった。したがって，振幅変調波外力が作用した発振器の出力には周波数変調波が現われ，2周波外力の場合とともに，この場合もAM→FM変換の性質をもつことが明らかとなった。

第8章 同期発振器を用いたAM→FM(PM)変換器

第5章，第7章の結果から発振器が搬送波の周波数に同期しているとき，その搬送波が単側波帯または両側波帯を伴うと，発振器の出力には周波数変調波が現われることが明らかになったので，本章では同期発振器のAM→FM変換器としての変換特性と変調周波数の下限などについて検討した。

さらに，AM→FM変換方式とすれば，変調周波数の下限を取り除くことが可能であることを理論的，実験的に明らかにした。

第9章 結 論

以上述べたように，本研究は，変調波外力が作用した発振器の挙動について理論的考察を加え，同期範囲と出力位相を示す基本式を導びき，さらに2周波外力及び振幅変調波外力の場合について検討することによって，従来明らかにされていないこの種の同期発振器の基本特性を明らかにし，さらに，同期発振器の新しい応用としてAM→FM(PM)変換器を提案したものである。

謝 辞

本論文の提出にあたり終始御指導を賜った真野国夫教授，高木相助教授に，また，御討論いただいた穴山武教授，斎藤伸自教授に深謝する次第である。また日頃有益な御助言をいただいた斎藤恒雄助手をはじめ，真野研究室の諸氏に感謝する。

審 査 結 果 の 要 旨

半導体素子および集積回路の飛躍的發展に伴い、発振器の同期現象は極めて重要であるにもかかわらず、注入外力が単一周波数のみの場合のほか、その特性は明確にされていないのが現状である。本論文は、同期発振器の一般的基礎特性として変調波外力が作用した場合の一般理論を展開し、ついで理論と実験により二周波外力および振幅変調波外力が作用した発振器の同期特性を明らかにし、また新しい応用を提案したもので全文 9 章よりなる。

第 1 章は緒論である。

第 2 章では、関連ある従来の研究結果を取りまとめて考察し、本研究の立脚点を明示している。

第 3 章では、外力が振幅変調とともに位相変調されている場合について同期発振器の出力を記述する基本となる式を誘導し、これが Hill の方程式に近似できる場合には同期範囲が考察できること、および出力位相を解析的に求め得ることを示している。

第 4 章では、外力が 2 周波成分をもつ場合の同期範囲について考察し、種々の条件で実験を行ない、計算結果と実験結果がよく一致することを確かめている。

第 5 章では、外力が 2 周波成分をもつ場合の出力位相について、主として実験的に検討している。その結果、2 周波成分のうち、同期範囲外に存在する周波数成分の影響で、発振器出力は周波数変調されることを明らかにしている。これは新しい知見である。

第 6 章では、外力が振幅変調されている場合の同期範囲について論じている。この場合は基本となる式が Hill の方程式に近似できることを示し、同期範囲の計算とともに実験を行ない、変調度の広い範囲で両者がよく一致することを確かめている。これは多周波外力注入同期発振器の特性解析結果として新しい知見である。

第 7 章では、発振器が外力の搬送波に同期し、両側波帯が同期範囲外にある場合の出力位相について、その近似式を与えとともに実験を行ない、この場合も両側波帯の影響により出力は周波数変調されることを明らかにしている。

第 8 章では、第 5 章、第 7 章で得られた AM-FM 変換特性についてさらに詳細な検討を行ない、同期発振器の新応用として AM-FM 変換器を提案し、その特徴について述べている。これは同期発振器の解析結果から得られた変調変換器として興味深いものである。

第 9 章は結論である。

以上要するに、本論文は、従来不明な点の多かった同期発振器の一般的基礎特性として変調波外力が作用した場合の理論を展開し、2 周波および振幅変調波外力の場合の特性を明らかにするとともに、新しい利用法を提案するなど、電子回路工学および通信工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。